



Etude de l'effet de la structure de la flamme sur les tubes écrans d'un générateur de vapeur à chauffe frontale

Habib Ben Cheikh, Hatem Mhiri, Georges Le Palec, Philippe Bournot

► To cite this version:

Habib Ben Cheikh, Hatem Mhiri, Georges Le Palec, Philippe Bournot. Etude de l'effet de la structure de la flamme sur les tubes écrans d'un générateur de vapeur à chauffe frontale. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00162279

HAL Id: hal-00162279

<https://hal.science/hal-00162279>

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE DE L'EFFET DE LA STRUCTURE DE LA FLAMME SUR LES TUBES ECRANS D'UN GENERATEUR DE VAPEUR A CHAUFFE FRONTALE

Habib BEN CHEIKH^{1*}, Hatem MHIRI¹, Georges LEPALEC², Philippe BOURNOT²

¹Unité de Thermique et Environnement, Ecole Nationale d'ingénieurs de Monastir, Route de Ouardanine, 5000 Monastir - Tunisie.

²Institut de Mécanique de Marseille, 60 rue Joliot Curie Technopôle de Château-Gombert 13453 Marseille Cedex 13 - France.

* (Auteur correspondant: habib_bc@yahoo.fr)

Résumé : Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une approche visant à étudier le problème de la rupture soudaine des tubes écrans en 15Mo3 qui équipent les générateurs de vapeur des centrales thermiques installées dans les années 70. Cette étude est menée au travers de simulations numériques en écoulements réactifs dans un générateur de vapeur à chauffe frontale, équipant une centrale thermique d'une puissance maximale de 160 MW et fonctionnant au gaz naturel. Les simulations sont effectuées à l'aide du code de calcul industriel FLUENT, en utilisant le modèle de combustion turbulente à fonction de densité de probabilité (PDF) et le modèle de turbulence k-ε RNG. La discussion des résultats obtenus portera sur l'effet et l'impact de la structure de la flamme sur le développement de ce problème des tubes vaporisateurs.

Mots clés :

Combustion turbulente, générateur de vapeur à chauffe frontale, éclatement des tubes, modèle de combustion PDF, modèle k-ε RNG

1. INTRODUCTION

L'un des principaux problèmes rencontrés par les générateurs de vapeurs à chauffe frontale équipant les centrales thermiques (installées dans les années 70) concerne la rupture soudaine des tubes écrans en acier 15Mo3 en service (Voir figure 1). Il s'agit de tubes jointifs qui tapissent les parois de la chambre de combustion constituant ainsi, les écrans vaporisateurs.

Dans ce travail on va s'intéresser au cas du générateur de vapeur de la centrale thermique de Sousse (Tunisie). Pour cette dernière, son historique des endommagements des tubes écrans depuis la mise en marche de la centrale en 1980, laisse diagnostiquer des éclatements, des fissurations et des perçages provoqués par l'action combinée de la sollicitation mécanique à chaud, du vieillissement dynamique du matériau ainsi que le rôle joué par l'environnement propice à la corrosion et au phénomène de fluage.

La flamme issue des brûleurs représente sans doute l'élément le plus agressif auquel est exposé le tube écran dans son voisinage. En effet, il s'est avéré que l'action synergique de la flamme, cause principale des surchauffes locales, et des contraintes mécaniques (contact de la vapeur, pression, ...) a des conséquences fâcheuses sur la bonne tenue du matériau 15Mo3 et sur la résistance à chaud des tubes.

On se propose donc, d'étudier l'influence de la structure de la flamme et son impact sur les tubes écrans de la chaudière.

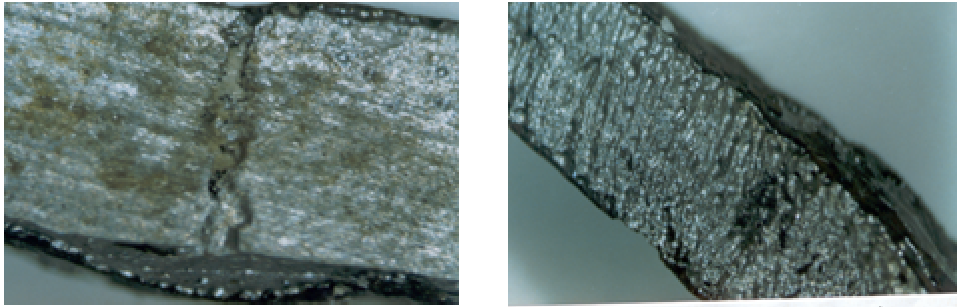


Figure 1 : Fissuration et faciès de l'éclatement d'un tube écran en acier 15Mo3

Pour répondre d'une part à cette question et d'autre part pour contourner la complexité des phénomènes physiques mis en jeu dans les chambres de combustion [1-3], l'utilisation de la CFD (Computational Fluid Dynamics) apparaît donc parfaitement adaptée à l'objectif fixé dans cette étude.

Dans une première partie de notre travail on présentera la géométrie de notre générateur de vapeur ainsi que le maillage et la procédure numérique adoptée. Les résultats et leurs interprétations seront exposés juste après.

2. GEOMETRIE DU FOYER ET CONDITIONS OPERATOIRES

La géométrie bidimensionnelle du foyer a été créée en utilisant le pré-processeur GAMBIT [4]. Une vue isotropique de la géométrie et du maillage du domaine de calcul est mise en évidence dans la figure 2.

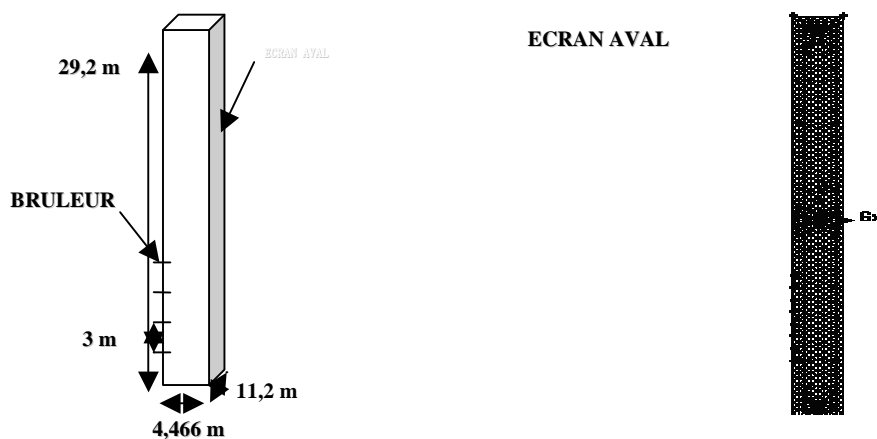


Figure 2 : Schéma et maillage de la chambre de combustion modélisée

Le maillage est tétraédrique, non uniforme, serré au niveau des brûleurs et à l'intérieur du foyer pour bien évaluer la structure de la flamme et détecter tout contact de celle-ci avec les parois des tubes qui forment l'écran aval de la chambre de combustion ; la zone la plus touchée par la flamme.

Les principales conditions opératoires considérées ici sont présentées dans le tableau 1.

Cas étudiés	Cas 1 160 MW	Cas 2 120 MW	Cas 3 85 MW
Débit de combustible (Nm ³ /h)	7300	5200	3000
Débit d'air (Nm ³ /h)*1000	75	61	38

Tableau 1 : Conditions opératoires

3. RESOLUTION NUMERIQUE

Le modèle numérique utilisé ici est basé sur le code de calcul industriel « FLUENT » [4] où le problème est décrit selon des équations moyennées de la conservation de la masse, de la quantité de mouvement, de l'enthalpie et des fractions massiques des différentes espèces. Ces équations sont décrites en détails dans [5]. Le Modèle de turbulence k-ε RNG, ainsi que les modèles de combustion *Single Mixture fraction Probability density function (PDF)* et de radiation P1 ont été aussi utilisés lors des différentes simulations effectuées dans notre travail.

La composition en termes de fractions des atomes de H, C, N et O ainsi que le PCI et le PCS du combustible ont été fournis par la Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz (S.T.E.G). Les caractéristiques thermophysiques de l'acier 15Mo3 sont aussi données par la même société. Ces données sont illustrées dans le tableau 2

Limite d'élasticité à 20 °C	440MPa
Coefficient de dilatation thermique entre 0 et 200°C	$11.10^{-5} K^{-1}$
Conductivité thermique à 20°C	$47 W.m^{-1}.K^{-1}$
Capacité calorifique massique à pression constante à 20°C	$460 J.kg^{-1}.K^{-1}$
Masse volumique à 20°C	$7800 kg.K^{-1}$
Coefficient de Poisson	0,3
Module d'Young	$21000 daN.mm^{-2}$

Tableau 2 : Propriétés thermophysiques de l'acier 15Mo3

Les équations de transport régissant le problème ont été résolues en utilisant une méthode aux volumes finis, basée sur l'algorithme de résolution SIMPLE. Toutes les données thermodynamiques à savoir la masse volumique, chaleur spécifique et les formations d'enthalpies sont extraites d'une base de données chimique préparée préalablement par l'outil Pre-PDF.

Les conditions aux limites considérées sont :

- *Mass Flow Inlet* au niveau des brûleurs (pour chaque essai, les valeurs des différents débits sont illustrés dans le tableau 1) ;
- *Wall* pour les parois du générateur de vapeur ;
- *Outflow* au niveau de la sortie du foyer du générateur de vapeur.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

On sait bien que la charge ou puissance délivrée par la centrale thermique de Sousse est en variation permanente en fonction de la demande en énergie électrique c'est ce qui fait que le débit de combustible varie aussi.

La structure de la flamme issue des brûleurs dépend, désormais, de tous ces paramètres qui lui sont influents à la fois qualitativement et quantitativement, c'est ce qu'on observera sur Les contours de température présentés sur les figures (3-a) jusqu'à (3-c)

4.1 Contours de température et structure de la flamme :

La figure (3-a) représente les contours de température pour la puissance maximale délivrée par la centrale c'est à dire 160MW et ce pour différents instants. Dans ce cas, le débit délivré par chaque brûleur est de $7300\text{Nm}^3/\text{h}$, et tous les brûleurs étant en service.

L'évolution de la structure de la flamme depuis le début de la combustion montre une longue flammelette continuellement plissée, comprimée et étirée par des mouvements turbulents, jusqu'à atteindre les parois des tubes et les toucher.

Le jet de gaz caractérisé par sa pression élevée cause un mouvement tourbillonnaire intense qui augmente la longueur de la flamme et engendre un transfert de chaleur important.

Pour une puissance de 120MW qui lui correspond un débit de combustible de $5200\text{Nm}^3/\text{h}$, on a dégagé les contours de température représentés sur la figure (3-b)

Les contours sont très fidèles à la réalité et montrent bien la diminution du débit de combustible. On remarque que la longueur de la flammelette a nettement diminué.

Malgré cela, le problème persiste mais avec un impact moins agressif puisque la probabilité que la flamme atteigne les tubes ne commence à être significative qu'après un temps relativement long par rapport au cas précédent.

Si on considère un débit plus faible de $3000\text{Nm}^3/\text{h}$. Ce débit correspond à une puissance délivrée de 85 MW relativement faible à l'échelle de la centrale et qui présente pratiquement la moitié de la charge maximale. La figure (3-c) nous laisse affirmer que les tubes écran sont épargnés, pour ce débit, du phénomène de lèche flamme – écran.

On note bien que la structure de la flamme au sein du foyer est directement liée au débit de combustible qui alimente les brûleurs et par conséquent à la puissance électrique fournie par la centrale. Plus on monte au niveau de la chambre de combustion, plus on remarque une déviation de la flamme loin des tubes, ce qui est dû à l'action des forces de flottabilité. En effet, les gaz de combustion sont entraînés vers la sortie du foyer en déviant la flamme dans leur direction.

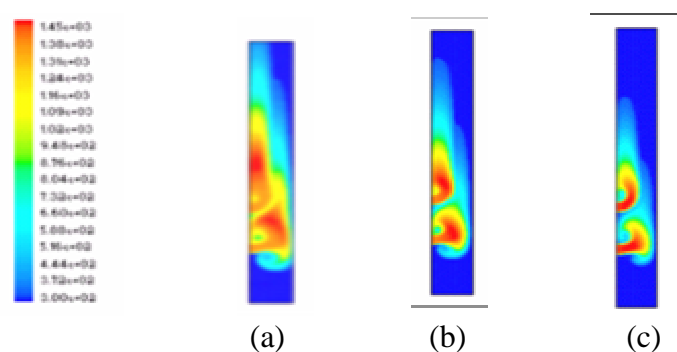


Figure 3 : Contours de température et structure de la flamme pour différentes puissances
(a) 160 MW (b) 120 MW (c) 85MW

4.2 Profils de température des tubes

Concernant les profils de température, les courbes obtenues ont la même allure. Il s'agit, pour les trois cas, d'une courbe ayant deux maximums qui se coïncident avec la position du

feu au sein du foyer relativement à la coupe que nous avons effectuée, ils s'étendent sur toute la zone des brûleurs.

Le premier maximum est encore plus accentué que le deuxième, ce qui va tout à fait en accord avec la structure de la flamme (voir contours, figure 3).

L'influence du débit apparaît au niveau des valeurs des températures ; les températures sont d'autant plus importantes que les débits de combustible (Gaz naturel) sont importants.

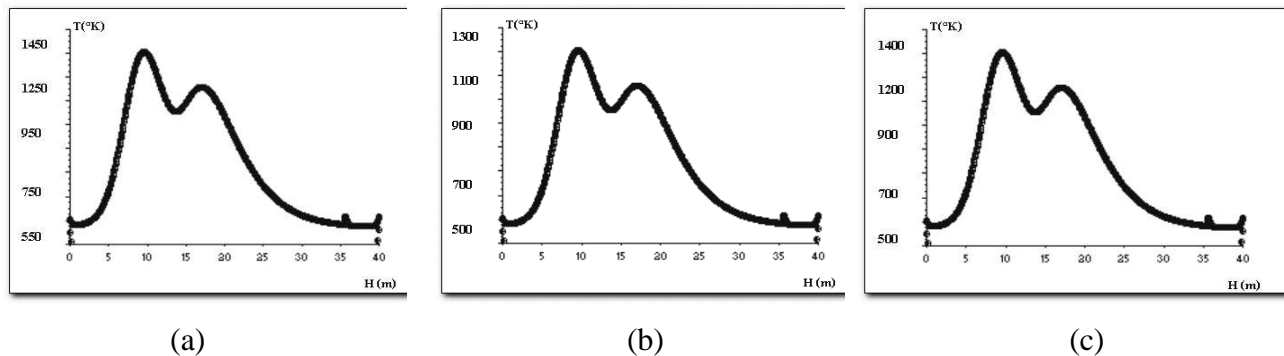


Figure 4 : Profils de température au niveau de la face aval du générateur de vapeur
(a) 160 MW (b) 120 MW (c) 85MW

5. CONCLUSION

A ce stade de l'investigation sur rupture accidentelle des tubes en acier 15Mo3 et sa relation avec la structure de la flamme, on peut tirer les conclusions suivantes :

- La flamme peut devenir très virulente pour l'écran aval et toucher les tubes écran qui le forment pour certaines charges très élevées
- La structure de la flamme dépend d'une manière étroite du débit du combustible qu'on délivre aux brûleurs
- Les profils de températures des tubes écran laissent observer deux maximums coïncidant avec l'étendue de la zone où se trouvent les brûleurs ; ces zones où les températures sont maximales représentent désormais les zones où les tubes sont plus vulnérables. Il faut noter que la réaction de synthèse de la magnétite est accélérée par la haute température, la couche s'épaissit jusqu'à atteindre une valeur critique au-delà de laquelle, elle se décolle et accentue la fragilisation de la paroi du tube.

Références

- [1] R.K. Boyd, J.H. Kent, in: Proceedings of the 21st Symposium (International) on Combustion, *The Combustion Institute, Pittsburgh*, 265-274, 1986.
- [2] K. Gôrner, W. Zinser, in: Proceedings of the ASME, *107th Annual Meeting, Anaheim, California, USA*, 1986.
- [3] M. Xu, J. Yuan, S. Ding, H. Cao, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 155, 369-380, 1998
- [4] FLUENT, FLUENT 6.0 Users guide, 2002, Lebanon, USA
- [5] J.D.Smith, M.Laura, E.M.Hixon, T.Eldredge, *Industrial burners Handbook*, CRC Press, 2003